

DERWENT-ACC-NO: 1981-C6702D  
DERWENT-WEEK: 198113  
COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Contact attachment for semiconductor device - uses metal and metal silicide layers separated by diffusion barrier between contact and silicon substrate

INVENTOR: WITTMER, M

PATENT-ASSIGNEE: BBC BROWN BOVERI & CIE AG[BROV]

PRIORITY-DATA: 1979CH-0008013 (September 5, 1979)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	
MAIN-IPC				
DE 2940200 A	March 19, 1981	N/A	000	N/A
CH 648692 A	March 29, 1985	N/A	000	N/A

INT-CL\_(IPC): H01L021/28; H01L023/48 ; H01L029/40

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 2940200A

BASIC-ABSTRACT: The method of attaching a contact (15) to a semiconductor with a silicon substrate (10) uses a metal/silicide layer (12) embedded in the substrate and a metal layer (19) to which the metal contact is attached. Between the metal and the metal/silicide layers is a diffusion barrier (13) which can use borium, carbide or nitride of a transition metal.

A metal selected from one of groups IVb, Vb, or VIb of the periodic table can be used for the diffusion barrier, which has an average thickness of between 1000 and 1500 Angstroms. The metal layer under the contact may be of aluminium. For forming the metal/silicide layer, the element is heated for at least ten minutes to at least 400deg C and a transition metal such as titanium may be applied by cathode atomisation in a reactive atmosphere for forming the diffusion barrier. The reactive atmosphere can consist of argon and nitrogen.

TITLE-TERMS:

CONTACT ATTACH SEMICONDUCTOR DEVICE METAL METAL SILICIDE LAYER SEPARATE  
DIFFUSION BARRIER CONTACT SILICON SUBSTRATE

DERWENT-CLASS: U11 U12

EPI-CODES: U11-C05C; U11-D03; U11-E01; U12-E02;

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
11 DE 29 40 200 A 1

51 Int. Cl. 3:  
H 01 L 23/48  
H 01 L 21/28  
H 01 L 29/40

21 Aktenzeichen:  
22 Anmeldetag:  
43 Offenlegungstag:

P 29 40 200.4-33  
4. 10. 79  
19. 3. 81

24 Unionspriorität: 32 33 31  
05.09.79 CH 8013-79

71 Anmelder:  
BBC AG Brown, Boveri & Cie., Baden, Aargau, CH

7A Vertreter:  
Lück, G., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 7891 Küssaberg

72 Erfinder:  
Wittmer, Marc, Dr., Baden, Dättwil, Aargau, CH

56 Recherchenergebnis gem. § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG:  
DE-AS 19 47 026  
DE-OS 20 44 467  
FR- 14 17 621  
GB- 13 19 558  
US- 38 79 746  
US- 36 42 548

54 Kontaktnordnung für ein Halbleiterbauelement

DE 29 40 200 A 1

DE 29 40 200 A 1

-1-

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Kontaktanordnung für ein Halbleiterbauelement mit einem Siliziumsubstrat, enthaltend eine im Kontaktbereich des Substrats angeordnete Schicht aus einem Metall-Silicid, auf der mindestens eine weitere Schicht aus einem Metall oder einer Legierung angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Schicht (12) aus dem Metall-Silicid und der benachbarten weiteren Schicht (14) eine als Diffusionsbarriere insbesondere für Silizium wirksame Schicht (13) angeordnet ist, die aus dem Borid, Karbid oder Nitrid eines Uebergangsmetalls besteht.
2. Kontaktanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Uebergangsmetall ein Metall aus einer der Gruppen IVb, Vb oder VIb des periodischen Systems der Elemente ist.
3. Kontaktanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die als Diffusionsbarriere wirksame Schicht (13) aus Titan- oder Tantalnitrid besteht.
4. Kontaktanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht (13) eine mittlere Dicke von 1000 bis

1500 Å aufweist.

5. Kontaktanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine weitere Metallschicht (14) eine Aluminiumschicht ist.
- 5 6. Kontaktanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine weitere Metallschicht (14) mehrere Kontaktbereiche des gleichen Substrats elektrisch leitend miteinander verbindet.
- 10 7. Kontaktanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf der mindestens einen weiteren Metallschicht (14) eine Anschlussfahne (15) angeordnet ist.
- 15 8. Kontaktanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf der mindestens einen weiteren Schicht (14) weitere Metallschichten aufgebracht sind und auf der obersten Metallschicht eine Anschlussfahne (15) angeordnet ist.
- 20 9. Verfahren zur Herstellung einer Kontaktanordnung gemäss Anspruch 1, wobei auf dem Kontaktbereich des Siliziumsubstrats eine erste zur Bildung von Metall-Silicid geeignete Metallschicht und darauf eine als Diffusionsbarriere wirksame Zwischenschicht und auf diese Zwischenschicht mindestens eine weitere Metallschicht aufgebracht und danach das Halbleiterbauelement zur Ausbildung der Metall-Silicid-Schicht während mindestens 10 min auf
- 25 mindestens 400°C erwärmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die als Diffusionsbarriere wirksame Zwischenschicht durch Kathodenzerstäuben eines Uebergangsmetalls und vorzugsweise von Titan in einer reaktiven Atmosphäre aufgebracht wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine reaktive Atmosphäre aus Argon und Stickstoff verwendet wird.

-4-

Kontaktanordnung für ein Halbleiterbauelement

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Kontaktanordnung für ein Halbleiterbauelement mit einem Siliziumsubstrat, enthaltend eine im Kontaktbereich des Substrats angeordnete Schicht aus einem Metall-Silicid, auf der mindestens eine weitere Schicht aus einem Metall oder einer Legierung angeordnet ist.

Halbleiterbauelemente bestehen aus einem einstückigen Substrat, das definierte Kontaktbereiche aufweist. Um diese Kontaktbereiche mit einer als Aussenanschluss verwendbaren Kontaktfahne oder um mehrere Kontaktbereiche miteinander zu verbinden, werden üblicherweise mehrschichtige Kontaktanordnungen verwendet. Diese sollen einen kleinen Kontaktwiderstand und eine gute Haftung am Substrat aufweisen und eine dauerhafte Befestigung der Kontaktfahne ermöglichen.

Die heute gebräuchlichen Kontaktanordnungen bestehen gewöhnlich aus einer teilweise in das Substrat hineingewachsenen inneren Schicht aus einem Metall-Silicid und vorzugsweise Platin-Silicid, auf der mindestens eine äussere Metallschicht und vorzugsweise eine Aluminiumschicht aufgebracht ist. Zum Herstellen dieser Kontaktanordnungen werden

130012/0567

zuerst das zur Bildung der inneren Metall-Silicid-Schicht vorgesehene Metall und danach das zur Bildung der äusseren Schicht vorgesehene Metall aufgebracht und anschliessend das Substrat mit diesen Schichten einer Wärmebehandlung unterworfen. Bei dieser Wärmebehandlung bildet das zuerst  
5 aufgebraute Metall mit dem Silizium des Substrats die angestrebte Metall-Silicid-Schicht. Das hat den Vorteil, dass die ursprüngliche Grenzfläche zwischen aufgebrachtem Metall und Substrat einschliesslich den möglichen Verunreinigungen  
10 in die Metall-Silicid-Schicht eingeschlossen ist und die neu gebildete Grenzfläche zwischen dem Substrat und dem Metall-Silicid keine Verunreinigungen aufweist, die den Kontaktwiderstand und die Eigenschaften des Kontaktbereichs beeinflussen können. Das Verfahren hat aber zugleich den  
15 Nachteil, dass während der Wärmebehandlung oder durch den Stromfluss bei der Verwendung des Bauelementes (Elektromigration) ein Teil des Siliziums durch die sich bildende Metall-Silicid-Schicht hindurch in die äussere Metallschicht diffundiert und diese versprödet, was deren elektrischen  
20 Widerstand, die mechanische Festigkeit und auch die dauerhafte Befestigung einer Kontaktfahne nachteilig beeinflusst.

Es ist darum gebräuchlich, für die äussere Schicht kein reines Aluminium zu verwenden, sondern Aluminium mit einem geringen Anteil an Silizium und Kupfer, die das Eindiffundieren von weiterem Silizium aus der anliegenden Metall-Silicid-Schicht behindern.  
25

Es ist auch schon vorgeschlagen worden, beim Auftragen der einzelnen Schichten über die innere zur Bildung des Metall-Silicids vorgesehene Schicht eine Zwischenschicht aus einem  
30 Metall aufzubringen, das nur bei hoher Temperatur Silicide bildet und darum bei der Wärmebehandlung während des Herstellverfahrens oder bei der Betriebstemperatur als Diffusi-

onsbarriere wirksam ist, die das Eindringen von Silizium in die äussere Metallschicht verhindert. Als geeignete Metalle wurden Wolfram, Molybdän oder Niob genannt, die erst bei Temperaturen um  $600^{\circ}\text{C}$  Silicide bilden. Tatsächlich kann  
5 mit solchen Zwischenschichten eine Barriere gebildet werden, die das Eindiffundieren von Silizium in die äussere Metallschicht verlangsamt, diese Zwischenschichten sind jedoch nicht geeignet, die Siliziumdiffusion zu verhindern.

Der vorliegenden Erfindung liegt darum die Aufgabe zugrunde, eine Kontaktanordnung zu schaffen, welche eine Zwischen-  
10 schicht enthält, die das Eindiffundieren von Silizium in die äussere Schicht oder äusseren Schichten auch bei längerem Erwärmen auf erhöhte Temperatur mit Sicherheit verhindert, ohne die elektrischen und mechanischen Eigenschaften  
15 der Kontaktanordnung zu benachteiligen.

Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe mit einer Kontaktanordnung gelöst, die dadurch gekennzeichnet ist, dass zwischen der Schicht aus dem Metall-Silicid und der benachbarten weiteren Schicht eine als Diffusionsbarriere insbesondere für  
20 Silizium wirksame Schicht angeordnet ist, die aus dem Borid, Karbid oder Nitrid eines Uebergangsmetalls besteht.

Mit der neuen Kontaktanordnung kann die Diffusion von Silizium durch die oder aus der Metall-Silicid-Schicht in die benachbarten äusseren Schichten, aber auch die Diffusion  
25 des Metalls der äusseren Schicht in die Metall-Silicid-Schicht wirkungsvoll verhindert werden. Das ermöglicht, die Temperaturbehandlung der aufgebrachten Schichten bei einer relativ hohen Temperatur und während einer ausreichend langen Zeitspanne durchzuführen und die Innenschicht vollständig in die angestrebte Metall-Silicid-Schicht umzuwandeln.  
30 Die neue Kontaktanordnung ermöglicht auch, ein Halbleiterbauelement nach der Ausbildung des oder der Kontaktanord-



nungen weiteren Wärmebehandlungen zu unterwerfen, beispielsweise zum Aushärten einer Kunstharzummantelung, und es ermöglicht auch, das Halbleiterbauelement bei einer Betriebstemperatur zu verwenden, die höher als die bisher gebräuchlichen Betriebstemperaturen ist, ohne dass die Qualität der Kontaktanordnungen durch diese zusätzliche Wärmebehandlung oder erhöhte Betriebstemperatur beeinträchtigt wird.

Bei einem bevorzugten Herstellverfahren für die neue Kontaktanordnung wird auf den Kontaktbereich bzw. die Kontaktbereiche des Siliziumsubstrats eine erste zur Bildung von Metall-Silicid geeignete Metallschicht und darauf eine als Diffusionsbarriere wirksame Zwischenschicht und auf diese Zwischenschicht mindestens eine weitere Metallschicht aufgebracht und danach das Halbleiterbauelement zur Ausbildung der Metall-Silicid-Schicht während mindestens 10 min auf mindestens 400°C erwärmt, wobei die als Diffusionsbarriere wirksame Zwischenschicht durch Kathodenzerstäuben von Titan in einer reaktiven Atmosphäre aufgebracht wird. Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben. Die dazugehörige

Fig. 1 zeigt den schematischen Schnitt durch eine Ausführungsform der neuen Kontaktanordnung.

In der Figur ist ein für einen Aussenanschluss vorgesehener Bereich eines Siliziumsubstrats 10 gezeigt. In einen Teil der Oberfläche 11 dieses Bereichs ist eine Schicht 12 aus einem Metall-Silicid eingewachsen. Auf dieser Metall-Silicid-Schicht liegt eine als Diffusionsbarriere wirksame Schicht 13, über der eine weitere Metallschicht 14 angeordnet ist. Auf der Metallschicht ist eine Kontaktfahne 15 befestigt.

Das Siliziumsubstrat 10 weist gewöhnlich eine Dotierung mit

Fremdatomen auf, und die Anschlussbereiche können unterschiedlich dotiert sein. Die Art der Dotierung, deren Konzentration und räumliche Ausdehnung im Substrat bestimmen die Eigenschaften des Halbleiterbauelements. Da die Dotierung für den Aufbau der neuen Kontaktanordnung keine Bedeutung hat, wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

Für die Metall-Silicid-Schicht 12 kann irgendein Metall verwendet werden, das bei erhöhter Temperatur mit dem Silizium des Substrats ein Metall-Silicid bildet. Wie bereits einleitend erwähnt wurde, wird vorzugsweise Platin verwendet. Andere brauchbare Metalle sind beispielsweise Paladium, Nickel, Chrom, Molybdän oder Titan. Es ist auch möglich, zur Bildung der Metall-Silicid-Schicht eine geeignete Legierung auf das Substrat aufzubringen. Die Dicke der Metall-Silicid-Schicht beträgt vorzugsweise 1000 bis 2000 Å, wobei die Schicht teilweise in das Siliziumsubstrat eingewachsen ist.

Die als Diffusionsbarriere wirksame Schicht 13 soll bei den zur Herstellung von Halbleiterbauelementen erforderlichen Temperaturbehandlungen und der Betriebstemperatur des fertigen Bauelements die Diffusion insbesondere von Silizium aus dem Substrat bzw. der Metall-Silicid-Schicht in die weitere Metallschicht 14 und nach Möglichkeit auch des Metalls aus der letzteren Schicht in umgekehrter Richtung verhindern. Es war nun gefunden worden, dass sich für diese Diffusionsbarriere die Boride, Karbide und Nitride der Ubergangsmetalle besonders gut eignen. Sie sind thermisch und chemisch ausserordentlich stabil, und ihre elektrische Leitfähigkeit ist gleich gut und teilweise sogar besser als diejenige des entsprechenden Metalls. Als Ubergangsmetalle werden hier die Metalle der Gruppen IVb, Vb und VIb bezeichnet, das sind Titan, Zirkon, Hafnium bzw. Vanadium, Niob, Tantal und Chrom, Molybdän, Wolfram. Als Diffusions-

barrieren bevorzugte Verbindungen sind das Titan- und das Tantalnitrid. Die Dicke der als Diffusionsbarriere wirksamen Schicht beträgt vorzugsweise 1000 bis 1500 Å.

- Für die weitere Metallschicht 14 können unterschiedliche  
5 Metalle verwendet werden. Ihre Auswahl richtet sich im allgemeinen nach der Art des zu erstellenden Kontakts. Zum elektrisch leitenden Verbinden mehrerer Anschlussbereiche des gleichen Halbleiterbauelements wird gewöhnlich eine Aluminiumschicht verwendet, deren Dicke etwa 1000 Å beträgt.  
10 Zum Kaltverschweissen mit einer Kontaktfahne wird vorzugsweise eine Aluminiumschicht verwendet, deren Dicke bis zu 10'000 Å betragen kann. Dabei werden hier unter Kaltverschweissen solche Verfahren zum Verbinden von Metallen verstanden, die ohne äussere Wärmezuführung und beispielsweise  
15 mittels Ultraschall oder Druck ausgeführt werden und für die im angelsächsischen Sprachgebrauch der Sammelausdruck Bonding verwendet wird. Zum Anlöten einer Kontaktfahne kann eine Nickel- oder eine Goldschicht verwendet werden oder eine Nickel-Silber-Legierung. Für Lötverbindungen sind ausserdem gewöhnlich nicht nur eine Metallschicht auf die Diffusionsbarriere aufgetragen, sondern es werden mehrere  
20 Schichten übereinander angeordnet. Diese Technik ist jedem Fachmann hinreichend bekannt, weshalb auf weitere Einzelheiten hier verzichtet wird.
- 25 Zur Herstellung einer einfachen Ausführungsform der neuen Kontaktanordnung wurde ein Substrat in eine Kathodenzerstäubungsanlage eingebracht. Die Oberfläche des Substrats war mit Ausnahme der für die Kontaktanordnung vorgesehenen Bereiche in bekannter Weise abgedeckt. Dann wurde in einer  
30 neutralen Atmosphäre zuerst eine etwa 1000 Å dicke Schicht Chrom, darüber in einer reaktiven Atmosphäre eine etwa

1000 Å dicke Schicht Titannitrid und zuletzt wieder in einer neutralen Atmosphäre eine mehr als 2000 Å dicke Schicht Nickel aufgestäubt.

5 Zum Aufstäuben der Schichten wurde eine handelsübliche Kathodenzerstäubungsanlage mit einem Triodensystem verwendet. Als neutrale Atmosphäre wurde Argon mit einem Druck der Grössenordnung  $10^{-3}$  Torr verwendet. Als reaktive Atmosphäre, die das von einer Titankathode abgestäubte Material mindestens teilweise in Titannitrid umwandelt, wurde ein  
10 Gemisch von etwa  $10^{-3}$  Torr Argon und etwa  $4 \cdot 10^{-4}$  Torr Stickstoff verwendet. Das beschichtete Substrat wurde dann in einem konventionellen Ofen mit inerter Atmosphäre während 90 min auf  $500^{\circ}\text{C}$  erwärmt. Die danach ausgeführten Analysen zeigten, dass die direkt auf das Substrat aufgestäubte  
15 Chromschicht mit dem Silizium des Substrats eine Schicht aus Chromsilicid  $\text{CrSi}_2$  gebildet hatte. Diese Schicht war doppelt so dick wie die ursprüngliche Chromschicht und etwa zur Hälfte in das Substrat hineingewachsen. In der äusseren Nickelschicht konnte mit dem Rutherford-Rückstreuverfahren  
20 kein Silizium nachgewiesen werden.

Nach dem gleichen Verfahren wurden andere Kontaktanordnungen hergestellt, bei denen die zur Silicidbildung vorgesehene Schicht aus Platin, die Diffusionsbarriere aus Tantalnitrid und die äussere zum Befestigen der Kontaktfahne vorgesehene Schicht aus Aluminium bestand. Die zum Zerstäuben  
25 des Tantals verwendete reaktive Atmosphäre bestand aus etwa  $10^{-3}$  Torr Argon und etwa  $2,5 \cdot 10^{-4}$  Torr Stickstoff. Nach der Temperaturbehandlung bildeten die drei Schichten eine fest haftende Kontaktanordnung mit sehr guter elektrischer  
30 Leitfähigkeit. Bei der Analyse wurde festgestellt, dass die aufgestäubte Platinschicht mit dem Silizium aus dem Substrat das Platinsilicid  $\text{PtSi}$  gebildet hatte. In der äusseren Aluminiumschicht konnte kein Silizium nachgewiesen werden.

den.

Vergleichsversuche zeigten, dass bei Kontaktanordnungen, die keine Diffusionsbarriere enthielten, aber sonst mit den gleichen Metallen und nach dem gleichen Verfahren hergestellt waren, Silizium in die äussere Metallschicht eindiffundiert war und dort Nickelsilicid bzw. eine Aluminiumsiliziumlegierung gebildet hatte. Die Menge des eindiffundierten Siliziums war um so grösser, je höher die Erwärmungstemperatur oder je länger die Erwärmungszeit war. Das eindiffundierte Silizium bewirkte eine deutlich feststellbare Versprödung der äusseren Schicht, erhöhte den elektrischen Widerstand der Kontaktanordnung, erschwerte das Anbringen der Kontaktfahne und verminderte deren Haftfestigkeit.

Es versteht sich, dass die beispielsweise beschriebene Kontaktanordnung und das Verfahren zu deren Herstellung auf vielerlei Weise abgeändert und an bestimmte Verwendungszwecke bzw. Herstellbedingungen angepasst werden kann. Beispielsweise ist es nicht notwendig, alle Schichten mittels Kathodenzerstäubung aufzutragen, sondern einzelne Schichten können auch im Vakuum aufgedampft werden. Ueber die beschriebenen drei Schichten können bekannterweise weitere Schichten aufgedampft oder galvanisch abgeschieden werden. Für die Temperaturbehandlung kann anstelle des beschriebenen Ofens mit einer inerten Atmosphäre auch ein Vakuumofen verwendet werden. Es versteht sich auch, dass die neue Kontaktanordnung wegen ihrer guten mechanischen und elektrischen Eigenschaften insbesondere für die Herstellung von Halbleiterbauelementen im Batch-Verfahren geeignet ist, bei dem wegen der zunehmenden Miniaturisierung die Abmessungen der Kontaktanordnungen immer kleiner werden.

-12-

Z u s a m m e n f a s s u n g

Werden die bekannten Kontaktanordnungen für Halbleiterbauelemente während der Herstellung oder im Gebrauch während längerer Zeit auf eine höhere Temperatur erwärmt, dann steigt der elektrische Widerstand an, und die äussere Metallschicht oder -schichten verspröden, was die mechanische Festigkeit verringert. Der Grund dafür ist das Eindiffundieren von Silizium aus dem Halbleiterkörper in die Metallschicht oder -schichten. Um diese Diffusion zu verhindern, wird eine als Diffusionsbarriere insbesondere für Silizium wirksame Schicht (13) vorgeschlagen, die zwischen dem Halbleiterkörper (10) bzw. der ersten Schicht (12) der Kontaktanordnung und der äusseren Metallschicht (14) angeordnet ist. Diese Diffusionsbarriere besteht erfindungsgemäss aus dem Borid, Karbid oder Nitrid eines Uebergangsmetalls aus einer der Gruppen IVb, Vb oder VIb des periodischen Systems der Elemente. Es konnte gezeigt werden, dass diese Schicht die Diffusion von Silizium auch bei solchen Temperaturen verhindert, die weit über den während der Herstellung des Halbleiterbauelements erforderlichen Temperaturen liegen.

(Fig. 1)

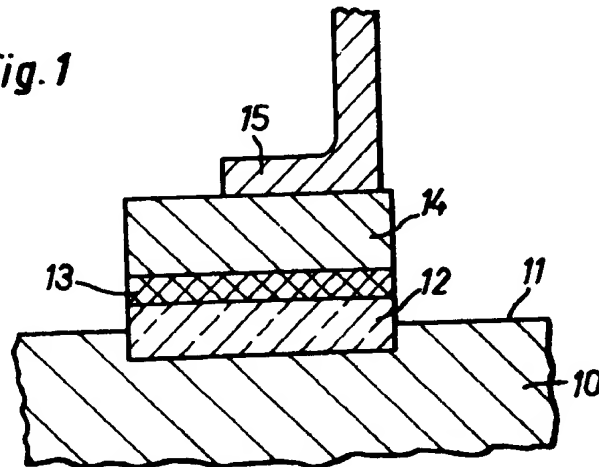
130012/0567

- 15 -  
2940200

Nummer:  
Int. Cl.<sup>3</sup>:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

29 40 200  
H 01 L 23/48  
4. Oktober 1979  
19. März 1981

Fig. 1



130012/0567

111 / 79 1/1

Bezeichnungsliste

- 10 = Siliziumsubstrat
- 11 = Oberfläche
- 12 = Metall-Silicid-Schicht
- 13 = Diffusionsbarriere
- 14 = Metallschicht
- 15 = Kontaktfahne



-14-  
Leerseite